

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 27 OCT 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 29 506.2

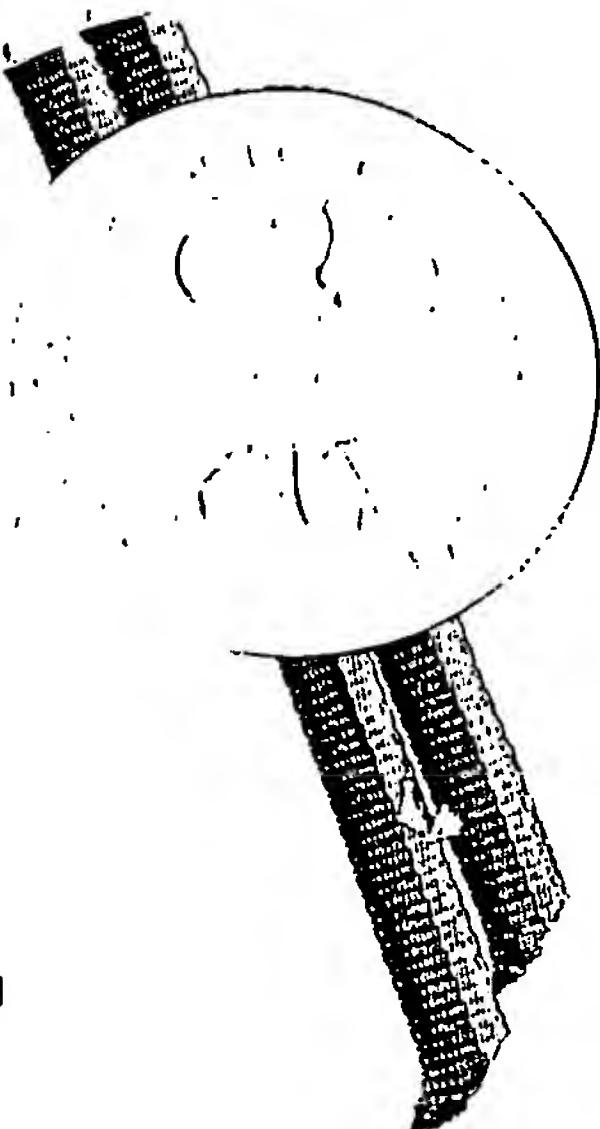
**Anmeldetag:** 30. Juni 2003

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Selbstzündende Brennkraftmaschine

**IPC:** F 02 B 3/10

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**



München, den 29. Juni 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Remus**

DaimlerChrysler AG

Aifan  
30.06.03

5

Selbstzündende Brennkraftmaschine

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, insbesondere einer Dieselmotorkraftmaschine, und eine Einspritzvorrichtung nach Anspruch 15.

15

20

25

Beim Betrieb von Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung wird versucht, einen Einfluss auf die Verbrennung und auf die Emissionsbildung durch Variation des Einspritzverlaufs zu nehmen. Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung werden zur Gestaltung einer lastabhängigen Kraftstoffeinspritzung Einspritzventile eingesetzt, bei denen die Gestaltung des Einspritzverlaufs durch einen entsprechenden Aufbau sowie ein gezieltes Öffnen des Einspritzventils gesteuert wird. Hierdurch soll weiterhin die Funktionsweise einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlung verbessert und optimiert werden. Beispielsweise kann eine gezielte Einspritzverlaufsformung zur Bereitstellung eines unterstöchiometrischen Abgases für die Desulphatisierung von NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren sowie zur On-Board-Erzeugung von NH<sub>3</sub> dienen.

30

35

Aus einer nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung mit dem amtlichen Aktenzeichen DE10159479.8-13 ist ein Verfahren bekannt, bei dem Kraftstoff als eine Haupteinspritzung und eine Nacheinspritzung in einen Brennraum eingebracht wird, wobei beide Einspritzungen getaktet vorgenommen werden können. Hierbei soll der zeitliche Ablauf der Verbrennung beeinflusst

werden, so dass ein zeitlicher Ablauf des Drehmomentverlaufs bzw. ein Druckverlauf im Zylinder der Brennkraftmaschine verändert werden, um die Abgaszusammensetzung sowie eine Abgastemperatur zu beeinflussen.

5

Aus der DE 19953932 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem eine kombinierte homogen/heterogene Betriebsweise eines Verbrennungsmotors für die Erzielung mittlerer und höherer Leistungen vorgeschlagen wird. Dabei sollen mit einer

10 Einspritzstrategie sowohl eine frühe homogene Gemischbildung im Kompressionshub als auch eine darauffolgende heterogene Gemischbildung um den oberen Totpunkt ermöglicht werden, wobei die Kraftstoffeinspritzung bei der homogenen Gemischbildung mit einem geringeren Einspritzdruck als bei der heterogenen  
15 Gemischbildung erfolgt, um ein Auftragen von Kraftstoff auf die kalten Brennraumwände zu vermeiden. Es hat sich dennoch gezeigt, dass trotz der oben vorgeschlagenen Maßnahmen weiterhin erhöhte Abgasemissionen auftreten. Es müssen daher weitere Maßnahmen getroffen werden, mit denen die  
20 Abgasemissionen minimiert werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren für eine Brennkraftmaschine mit Selbstzündung zu schaffen, mit dem die Abgasemissionen reduziert werden. Dies wird  
25 erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Weiterhin ist es Ziel der Erfindung, eine Vorrichtung bereitzustellen, mit der eine selbstzündende Brennkraftmaschine hinsichtlich des Abgasverhaltens und des  
30 Verbrauchs verbessert wird. Dieses Ziel wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 15 erreicht.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird Kraftstoff mittels einer eine Düsennadel aufweisenden Einspritzdüse mit Einspritzbohrungen in Form mehrerer Kraftstoffstrahlen direkt in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine eingespritzt, wobei zu einem späteren Zeitpunkt nach der Haupteinspritzung eine Kraftstoffmenge als eine getaktete Nacheinspritzung eingespritzt wird, wobei die Nacheinspritzung in Teilmengen derart getaktet eingespritzt wird, dass die Kraftstoffteilmengen der Nacheinspritzung unterschiedlich groß gebildet werden. Hierdurch kann eine gezielte Anpassung der Kraftstoffteilmenge an die Kolbenstellung im Zylinder und/oder einen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine erreicht werden, so dass sich die jeweilige Teilmenge rechtzeitig vor Erreichen der Zylinderwand mit der Brennraumluft vermischt, so dass eine Benetzung der Zylinderwand mit Kraftstoff weitgehend vermieden wird.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung werden während der getakteten Nacheinspritzung ein Hub der Düsennadel der Einspritzdüse und/oder ein Kraftstoffeinspritzdruck derart eingestellt, dass bei jeder in den Brennraum eingespritzten Teilmenge der Nacheinspritzung eine Reichweite des jeweiligen Kraftstoffstrahls im Brennraum derart begrenzt wird, dass die Reichweite kleiner als eine Entfernung bis zu einer Brennraumbegrenzung ist. Dadurch wird eine Kraftstoffwandanlage im Zylinder, die z.B. bei kleinerem Gasdruck und niedrigerer Temperatur im Zylinder stetig steigt, minimiert. Erfindungsgemäß wird ein verstärktes Aufbrechen und Verdampfen des Einspritzstrahls erzielt. Die getaktete vorgesehene Nacheinspritzung führt erfindungsgemäß zu einer Verkürzung der flüssigen Strahllänge. Dies ist die Länge bzw. Eindringtiefe eines aus flüssigem Kraftstoff gebildeten Einspritzstrahls. Somit wird ein Auftragen von Kraftstoff auf

die kalten Brennraumwände vermieden, da dieser Kraftstoffanteil größtenteils mit der Restluft und dem Restgas im Zylinder reagiert und somit nicht wie bei erhöhtem Kraftstoffeintrag in das Motoröl gelangt.

5

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer als eine nachfolgende Kraftstoffmenge der Nacheinspritzung bemessen. Hierdurch wird einer örtlich starken Anfettung des im  
10 Brennraum gebildeten Gemisches insbesondere während der getakteten Nacheinspritzung entgegengewirkt, so dass eine Rußpartikelbildung insbesondere während der Nacheinspritzung minimiert bzw. verhindert wird. Es ist zweckmäßig, die einzelnen Einspritzmengen während der Nacheinspritzung derart  
15 zu gestalten, dass jeweils eine bestimmte Kraftstoffmenge in den Brennraum gelangt, die eine intensive und vollständige Vermischung mit der Brennraumluft erfährt, bevor der Kraftstoffstrahl die Brennraumbegrenzung bzw. eine Zylinderwand erreicht hat.

20

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Nacheinspritzung mit einem niedrigeren Einspritzdruck als dem der Haupteinspritzung in den Brennraum eingespritzt. Somit kann ein weiterer Kraftstoffwandauftrag vermieden werden, da  
25 sich ein Brennraumgendruck während der Nacheinspritzung mit veränderter Kolbenstellung abnehmend verändert. Der Druck des eingespritzten Kraftstoffs kann weiterhin während der getakteten Nacheinspritzung, vorzugsweise in Abhängigkeit von der Kolbenstellung variiert bzw. kontinuierlich angepasst oder  
30 auf ein niedrigeres Niveau als während der Haupteinspritzung gesenkt werden, um dem abfallenden Brennraumdruck während eines Expansionshubs der Brennkraftmaschine entgegenzuwirken. Dadurch kann beispielsweise die Eindringtiefe der



Kraftstoffteilmengen in Form von Einspritzstrahlen im Brennraum während der getakteten Nacheinspritzung konstant gehalten werden.

- 5 Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein Hub der Düsennadel der Einspritzdüse derart eingestellt, dass eine instabile, kavitierende Strömung in den Einspritzbohrungen der Einspritzdüse erzeugt wird. Hiermit sollen die Kraftstofftropfen innerhalb des eingespritzten Strahls kurz nach dem Austritt aus der Einspritzdüse zerfallen und rechtzeitig zerstäubt werden. Somit wird ein Auftreffen des Kraftstoffs z.B. auf die als Brennraumbegrenzung dienende Zylinderwand weitgehend minimiert.
- 10
- 15 Gemäß der vorliegenden Erfindung findet die Taktung der Nacheinspritzung derart statt, dass die Reichweite des Kraftstoffstrahls bei jeder eingespritzten Teilmenge im Brennraum begrenzt wird. Dadurch wird die Reichweite in etwa kleiner als eine Entfernung bis zu einer Zylinderwand weitgehend begrenzt, indem ein Zerfall der eingespritzten Kraftstoffstrahlen im Brennraum verstärkt wird. Die einzelnen Einspritzakte werden während der Nacheinspritzung derart gestaltet, dass jeweils die Strahlimpulse der Einzeleinspritzungen angepasst werden, und bei der jeweiligen Brennraumgasdichte die Reichweite der Kraftstoffstrahlen in etwa die Strecke bis zu der brennraumseitigen Zylinderwand oder dem Kolbenboden beträgt. Eine Steuerung eines Einspritzstrahlimpulses und einer Einspritz-Teilmenge wird vorzugsweise durch die Pulsdauer bzw. die Taktung in Kombination mit gezielter Einspritz-Düsennadelgestaltung vorgenommen, so dass die Kraftstoffstrahlen durch eine verstärkte Zerstäubung kurz nach dem Austritt aus der Einspritzdüse zerfallen. Eine Rußpartikelbildung und ein
- 20
- 25
- 30

signifikanter Kraftstoffauftrag auf die Zylinderwand werden weitgehend vermieden bzw. minimiert.

5 Weitere Kriterien für die Gestaltung einer zusätzlichen Nacheinspritzung können sich aus den Anforderungen einer etwaigen Abgasnachbehandlungsmaßnahme ergeben.

10 Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine nach innen öffnende Düsennadel mit mehreren Einspritzbohrungen vorgeschlagen, bei der der Kraftstoff durch die Einspritzbohrungen in Form von Kraftstoffstrahlen in den Brennraum eingespritzt wird, so dass zwischen den eingespritzten Kraftstoffstrahlen ein Spritzlochkegelwinkel von  $80^\circ$  bis  $140^\circ$  oder von  $80^\circ$  bis  $160^\circ$  einstellbar ist.

15 Gemäß einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist der Hub der Düsennadel in einer Öffnungsrichtung verstellbar, so dass während der getakteten Nacheinspritzung der Hub der Düsennadel variabel eingestellt werden kann. Die Einstellung  
20 des Hubes kann wahlweise lastabhängig erfolgen. Dadurch wird eine während der getakteten Nacheinspritzung erfolgte Einspritzteilmenge variiert. Des Weiteren kann mit der Verstellung des Hubes eine instabile kavitierende Strömung in den Einspritzbohrungen der Einspritzdüse gebildet werden.

25 Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale  
30 in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Brennkraftmaschine mit Selbstzündung,

5 Fig. 2 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit 5-fach getakteter Voreinspritzung, einer Haupteinspritzung und mit 5-fach getakteter Nacheinspritzung,

10 Fig. 3 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit 5-fach getakteter Voreinspritzung mit gleichbleibender Taktdauer bei konstantem Nadelhub und steigendem Einspritzdruck während der Voreinspritzung, sowie einer Haupteinspritzung und eine 5-fache Nacheinspritzung mit abfallendem Einspritzdruck mit gleichbleibender Taktdauer bei konstantem Nadelhub,

15

20 Fig. 4 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit 4-fach getakteter Voreinspritzung mit ansteigender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck, sowie einer Haupteinspritzung und einer 4-fachen Nacheinspritzung bei einem konstantem Einspritzdruck mit abnehmender Taktdauer,

25 Fig. 5 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit einer Block-Voreinspritzung bei konstantem Einspritzdruck, sowie einer Haupteinspritzung und einer Block-Nacheinspritzung bei konstantem Einspritzdruck und

30 Fig. 6 eine schematische Darstellung der Wirkung einer instabilen kavitierenden Strömung im Düsenloch einer Mehrlochdüse.



Fig. 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1, bei der eine Kurbelwelle 2 durch einen in einem Zylinder 9 geführten Kolben 5 über eine Pleuelstange 4 angetrieben wird. Zwischen dem 5 Kolben 5 und einem Zylinderkopf 10 wird im Zylinder 9 ein Brennraum 8 gebildet, der eine in den Kolbenboden 7 eingelassene Kolbenmulde 6 umfasst.

10 Bei der Drehung einer Kurbel 3 der Kurbelwelle 2 auf einem Kurbelkreis 11 im Uhrzeigersinn verkleinert sich der Brennraum 8, wobei die in ihm eingeschlossene Luft verdichtet wird. Der Ladungswechsel im Brennraum 8 erfolgt über nicht dargestellte Gaswechselventile und Gaskanäle im Zylinderkopf 10.

15 Mit dem Erreichen eines oberen Totpunktes 12 der Kurbel 3, nachfolgend mit OT bezeichnet, ist das Ende der Verdichtung erreicht. Die aktuelle Lage des Kolbens 5 zum Zylinderkopf 10 wird durch den Kurbelwinkel  $\phi$  in Bezug auf den oberen Totpunkt 12 bestimmt.

20

Eine Einspritzdüse 13 mit mehreren Einspritzbohrungen ist im Zylinderkopf 10 zentral angeordnet. Die Einspritzbohrungen sind jeweils um einen Winkel von  $40^\circ$  bis  $80^\circ$  zur Düsenachse geneigt. Der Spritzlochkegelwinkel beträgt ca.  $80^\circ$  bis  $160^\circ$ . Es 25 kann sich prinzipiell um eine konventionelle und damit kostengünstige Lochdüse vom Typ Sitzloch, Mini-Sackloch oder Sackloch handeln. Die Einspritzdüse 13 wird über eine Signalleitung 15 und einen Aktuator 14, beispielsweise einen Piezo-Aktuator, von einer elektronischen Steuereinheit 16, der 30 Motorsteuerung, angesteuert. Die aus der Einspritzdüse austretenden Einspritzstrahlen sind mit 17 bezeichnet.

Der Kraftstoff wird von einer Einspritzpumpe 18 in mehreren Druckstufen zur Verfügung gestellt, wobei ein Steuerventil 20, zweckmäßigerweise ein elektronisch ansteuerbares Magnetventil, den jeweiligen maximalen Druck in der Kraftstoffleitung 19 begrenzt. Bevorzugt wird mittels eines geeigneten Einspritzsystems der Einspritzdruck angepasst. Dabei kann ein nadelhubgesteuertes Einspritzsystem mit einer entsprechenden Druckmodulation verwendet werden.

10 Erfindungsgemäß weist die Einspritzdüse 13 vier bis vierzehn Einspritzbohrungen auf, welche vorzugsweise in einer oder zwei Lochreihen über dem Umfang verteilt angeordnet sind. Der Betrieb der Brennkraftmaschine 1 kann durch den optionalen Einsatz einer Einspritzdüse mit zwei unterschiedlich  
15 ansteuerbaren Lochreihen, z.B. durch eine innenöffnende Koaxial-Variodüse, optimiert werden. Vorzugsweise kann eine der beiden Lochreihen unter einem Spritzlochkegelwinkel  $\alpha$ , vorzugsweise zwischen  $130^\circ$  und  $160^\circ$ , zur Darstellung eines konventionellen Magerbetriebs angesteuert werden, wobei dann  
20 die zweite Lochreihe, mit einem wesentlich kleineren Spritzlochkegelwinkel, vorzugsweise zwischen  $80^\circ$  und  $140^\circ$ , insbesondere zur Gestaltung einer Fettverbrennung mit einer Nacheinspritzung und gegebenenfalls für eine Voreinspritzung eingesetzt wird. Durch die Ansteuerung der Lochreihe mit dem  
25 kleineren Spritzlochkegelwinkel  $\alpha$ , z.B.  $80^\circ$  anstelle  $150^\circ$ , wird eine freie Strahllänge bei einer späten Nacheinspritzung, beispielsweise bei  $70^\circ\text{KW}$  bis  $90^\circ\text{KW}$  nach OT verlängert. Somit trifft der Kraftstoffstrahl 17 nicht auf die Zylinderwand sondern wird in Richtung der Kolbenmulde 6 bzw. auf den  
30 Kolbenboden 7 gerichtet.

Die Einspritzdüse 13 weist eine in Fig. 6 dargestellte  
Düsennadel 13a auf, die mit einem nicht dargestellten  
Steuerelement verbunden ist. Durch die Ansteuerung der  
Düsennadel 13a durch das Steuerelement wird sie bewegt, um die  
5 Einspritzdüse 13 zu öffnen bzw. zu schließen. Dabei wird ein  
bestimmter Betriebshub  $h$  während einer Betriebsstellung  
betriebspunktabhängig und/oder in Abhängigkeit von dem  
Kurbelwinkel  $\phi$  eingestellt. Ein Kraftstoffdurchfluss kann dann  
in Abhängigkeit vom Betriebshub  $h$  und einer Öffnungszeit bzw.  
10 einer Taktdauer sowie vom eingestellten  
Kraftstoffeinspritzdruck bestimmt bzw. verändert werden.

Das vorliegende Verfahren eignet sich insbesondere für ein  
kombiniertes homogen/heterogenes Brennverfahren mit  
15 Selbstzündung, so dass eine konventionelle Magerverbrennung,  
bekannt aus Dieselmotoren, sowie eine Fettverbrennung zur  
Optimierung einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlungsanlage,  
die insbesondere für magerbetriebene Brennkraftmaschinen  
ausgelegt ist, durchgeführt werden kann.

20 Die Brennkraftmaschine 1 weist weiterhin eine nicht  
dargestellte Abgasreinigungsanlage mit z.B. mehreren  
Katalysatoreinheiten auf. Die selbstzündende  
Brennkraftmaschine 1 wird üblicherweise weitgehend in einem  
25 Magerbetrieb und bei Bedarf zur Optimierung der  
nachgeschalteten Abgasreinigungsanlage in einem Fettbetrieb  
gefahren. Als Magerbetrieb wird ein überstöchiometrischer  
Motorbetrieb bezeichnet, bei dem in der Verbrennung ein  
Sauerstoffüberschuss, d.h.  $\lambda > 1$ , herrscht. Unter Fettbetrieb  
30 wird ein unterstöchiometrischer Motorbetrieb verstanden, bei  
dem in der Verbrennung ein Kraftstoffüberschuss, d.h.  $\lambda < 1$ ,  
herrscht. Dementsprechend bezeichnet eine magere

Abgaszusammensetzung einen Sauerstoffüberschuss im Abgas und eine fette Abgaszusammensetzung einen Sauerstoffmangel im Abgas.

- 5 Bei fetter Abgaszusammensetzung kann mittels einer ersten Katalysatoreinheit Ammoniak aus entsprechenden Abgasbestandteilen erzeugt werden. Eine zweite Katalysatoreinheit, die bei fetter Abgaszusammensetzung von der ersten Katalysatoreinheit erzeugten Ammoniak adsorbiert, setzt bei magerer Abgaszusammensetzung den Ammoniak wieder frei, der dann als Reduktionsmittel für eine Reduktionsreaktion dient, mit der im Abgas enthaltene Stickoxide unter gleichzeitiger Oxidation des Ammoniaks in Stickstoff umgewandelt werden. Sobald im Magerbetrieb die zwischengespeicherte Ammoniakmenge erschöpft ist, wird auf Fettbetrieb umgeschaltet. Für die NO<sub>x</sub>-Regeneration und die Desulphatisierung von NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren sowie für die On-Board-Erzeugung von NH<sub>3</sub> zur Regeneration eines SCR-Katalysators ist es erforderlich, am Motor ein unterstöchiometrisches Abgas zu erzeugen und den Katalysatoren, z.B. dem NO<sub>x</sub>-Speicherkat und/oder dem SCR-Katalysator zur Verfügung zu stellen.

- 25 Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 werden Maßnahmen zur Vermeidung der Anlagerung von flüssigem Kraftstoff in Verbindung mit einer nach einer Haupteinspritzung HE vorgesehenen Nacheinspritzung NE oder mit einer vor der Haupteinspritzung HE vorgesehenen Voreinspritzung VE getroffen, so dass ein frühes Vermischen mit der im Brennraum befindlichen Verbrennungsluft stattfindet. Diese Maßnahmen können einzeln oder miteinander kombiniert vorgenommen werden, so dass jede denkbare Kombination dieser Maßnahmen bei Bedarf gewählt werden kann.

Sowohl im Magerbetrieb als auch im Fettbetrieb der Brennkraftmaschine 1 kann die einzubringende Kraftstoffmenge durch eine betriebspunktabhängige Aufteilung als eine Vor-  
5 Haupt- und Nacheinspritzmenge in den Brennraum eingebracht werden. Die vorliegende Erfindung dient in erster Linie zur Optimierung der unterschiedlichen Kraftstoffmengen und deren betriebspunktabhängigen Anpassung, so dass eine Brennraumwandanlagerung mit Kraftstoff vermieden wird.

10 Bei der vorliegenden Brennkraftmaschine wird die Erzeugung eines unterstöchiometrischen Abgases durch die Nacheinspritzung erzielt, so dass die spät eingebrachte Kraftstoffmenge zumindest teilweise nicht an der Verbrennung  
15 teilnimmt. Es bieten sich grundsätzlich mehrere Maßnahmen an, um unterstöchiometrisches Abgas zu bilden. Dies kann beispielsweise auch durch eine luft- und abgasseitige Drosselung des Motors oder eine Erhöhung einer Abgasrückführrate sowie einer Erhöhung der Kraftstoffmenge im  
20 Zylinder oder im Abgasstrang lastneutral erzielt werden. Die kraftstoffseitige Maßnahme durch eine entsprechende Nacheinspritzung bietet gegenüber der Drosselung des Motors und der Erhöhung der Abgasrückführrate deutliche Vorteile in Bezug auf die zeitlich schnelle Realisierbarkeit des  
25 Fettbetriebs. So können die durch eine getaktet vorgenommene Nacheinspritzung gebildeten Teilmengen von Arbeitsspiel zu Arbeitsspiel mengenmäßig verändert werden. Die innermotorische Kraftstoffeinbringung bietet gegenüber der nachmotorischen Kraftstoffdosierung Vorteile insbesondere in Bezug auf die  
30 Präzision bzw. erforderliche Genauigkeit bei der Darstellung der für das Abgasnachbehandlungssystem erforderlichen Abgasbestandteile CO, H<sub>2</sub> bei einem Adsorber-Katalysator und NH<sub>3</sub>



bei einem SCR-Katalysator mit einem vergleichbar geringen Kostenaufwand.

Die in Fig. 2 dargestellte Einspritzstrategie sieht eine Vor-,  
5 eine Haupt- und eine Nacheinspritzung vor. Die Voreinspritzung  
VE findet als eine Homogenisierungseinspritzung in einem  
Bereich zwischen  $140^\circ\text{KW}$  und  $40^\circ\text{KW}$  vor OT statt. Dabei findet  
die Voreinspritzung VE bei einem Einspritzdruck  $P_1$  als eine  
getaktete Kraftstoffeinspritzung statt. Die Taktung erfolgt  
10 derart, dass bei jeder Taktung einen unterschiedlichen  
Nadelhub  $h$  eingestellt wird. Durch die gezielte Taktung der  
Voreinspritzung VE wird eine Homogenisierung der  
eingespritzten Teilmengen erreicht. Alternativ zur getakteten  
Voreinspritzung kann die Homogenisierung im Kompressionshub  
15 auch dadurch erzeugt werden, dass Kavitationseffekte im  
Düsensacklochbereich und in den Düsenlöchern durch eine  
konstante Positionierung der Düsennadel 13a der Einspritzdüse  
13 z.B. mittels einer direkten Ansteuerung über ein  
Piezostellglied erfolgen.

20 Die Haupteinspritzung erfolgt dann bei einem höheren  
Einspritzdruck  $P_2$  in einem Bereich zwischen  $10^\circ\text{KW}$  vor OT bis  
 $20^\circ\text{KW}$  nach OT. Bei der Haupteinspritzung HE wird ein größerer  
Nadelhub  $h$  als bei der Voreinspritzung VE eingestellt.  
25 Vorzugsweise wird die Haupteinspritzmenge HE in einem Abstand  
von  $5^\circ\text{KW}$  bis  $15^\circ\text{KW}$  zum Zündzeitpunkt der homogenen Verbrennung  
unter möglichst hohem Einspritzdruck  $P_2$  eingebracht. Die Lage  
der Haupteinspritzung HE ist durch den maximal zulässigen  
Spitzendruck der Brennkraftmaschine und den maximal zulässigen  
30 Druckanstieg des Motors begrenzt. Zur Vermeidung eines  
Drehmomentanstiegs durch die Haupteinspritzung HE, in  
Kombination mit der vorgeschalteten Voreinspritzung VE und der  
Nacheinspritzung NE wird die Haupteinspritzmenge entsprechend

so reduziert, dass das Motordrehmoment insgesamt dem Moment eines reinen Magerbetriebs entspricht.

Die Einspritzung einer zusätzlichen Kraftstoffmenge in Form  
5 der Nacheinspritzung findet insbesondere während der Fettphase  
mittels einer 2- bis 8-fachen getakteten Einspritzung im  
Expansionshub während eines Intervalls von ca.  $20^\circ$  bis  $150^\circ$  KW  
nach OT statt. Die einzelnen Einspritztaktte für die  
Einspritzung werden bezüglich Dauer, Einspritzdruck,  
10 Nadelhubverlauf und Wechselwirkung mit der  
Zylinderinnenströmung so angepasst, dass eine bestmögliche  
Gemischverteilung erzielt wird, so dass kein signifikanter  
Kraftstoffauftrag auf die Zylinderwand erfolgt. Die  
Nadelöffnungsdauer bei den einzelnen Takten der  
15 Nacheinspritzung NE wird kleiner als die Nadelöffnungsdauer  
der Haupteinspritzung HE eingestellt. Die Nadelhubeinstellung  
wird während der Nacheinspritzung NE unterschiedlich  
vorgenommen, wobei sie vorzugsweise nachfolgend kleiner  
eingestellt wird. Dabei wird während der Nacheinspritzung bei  
20 veränderlichem Nadelhub ein konstanter  
Kraftstoffeinspritzdruck eingestellt, der vorzugsweise höher  
als der während der Voreinspritzung VE und kleiner als der  
während der Haupteinspritzung HE ist. Vorzugsweise wird die  
Taktung während der Nacheinspritzung derart vorgenommen, dass  
25 die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer ist  
als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.

Eine zweite Einspritzstrategie ist in Fig. 3 dargestellt, in  
der die Brennkraftmaschine 1 in einem kombinierten  
30 Homogen/Heterogen-Betrieb mit 5-fach getakteter  
Voreinspritzung VE mit gleichbleibender Taktdauer und  
steigendem Einspritzdruck während der Voreinspritzung VE,  
sowie einer Haupteinspritzung HE mit einem erhöhten

Einspritzdruck  $P_2$  bei einem maximal eingestellten Nadelhub  $h$  und einer 5-fachen Nacheinspritzung NE mit gleichbleibender Taktdauer und absinkendem Einspritzdruck betrieben wird. Vorzugsweise wird die Taktung während der Nacheinspritzung  
5 derart vorgenommen, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung gleich groß bzw. größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.

Die getaktete Voreinspritzung VE gemäß Fig. 3 erfolgt im  
10 Kompressionshub in einem Kurbelwinkelbereich von etwa  $80^\circ\text{KW}$  bis etwa  $35^\circ\text{KW}$  vor OT. Sie erfolgt derart, dass bei jeder Taktung der Einspritzdruck zunimmt, d.h. während der Voreinspritzung VE herrscht, beispielsweise in einem Common-Rail-Einspritzsystem, bei der früh erfolgten  
15 Einspritzteilmenge ein niedrigerer Druck als bei der darauffolgenden Einspritzteilmenge, wobei der Nadelhub  $h$  während der getakteten Voreinspritzung VE konstant bleibt. Die Haupteinspritzung findet dann bei einem höheren Einspritzdruck  $P_2$  in einem Bereich zwischen dem oberen Totpunkt und etwa  
20  $30^\circ\text{KW}$  nach OT. Bei der Haupteinspritzung HE wird ein höherer Nadelhub  $h$  als bei der Voreinspritzung VE eingestellt, wobei eine Nadelöffnungsdauer bei der Haupteinspritzung HE größer als die Nadelöffnungsdauer der Vor- und der Nacheinspritzung HE eingestellt wird. Während der Nacheinspritzung wird der  
25 Nadelhub  $h$  auf einem konstanten und kleineren Wert als bei der Haupteinspritzung gehalten, wobei sich der Einspritzdruck verändert bzw. kontinuierlich abnimmt. Es werden während der Vor- und der Nacheinspritzung unterschiedliche Kraftstoffdruck-Änderungsraten eingestellt, da sowohl während  
30 der Vor- als auch während der Nacheinspritzung im Brennraum 8 unterschiedliche Verbrennungsreaktionen stattfinden, die ungleiche Brennraumdruck- bzw. Temperaturverläufe hervorrufen.

- Eine besonders vorteilhafte Einspritzstrategie sieht der Einspritzverlauf gemäß Fig. 4 vor. Darin wird ein kombinierter Homogen/Heterogen-Betrieb mit 4-fach getakteter Voreinspritzung mit ansteigender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck vorgeschlagen, bei dem die Düsennadel 13a bei einer unteren Hubstellung verharret. Weiterhin sind eine Haupteinspritzung HE bei einem erhöhten Einspritzdruck P2 und einem maximal eingestellten Nadelhub h sowie eine Nacheinspritzung NE mit abnehmender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck P3 vorgesehen. Vorzugsweise kann die Taktung während der Nacheinspritzung derart vorgenommen werden, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.
- Das vorliegende Einspritzsystem ermöglicht während einer unterteilten bzw. getakteten Einspritzung die Einstellung unterschiedlicher Hubstellungen, so dass je nach Bedarf eine unterschiedliche Einspritzteilmenge vorgenommen werden kann. Wahlweise ist es dennoch möglich, die Taktung gemäß Fig. 5 durch eine Blockeinspritzung mit definiert begrenzter Hubstellung, z.B. mit Hilfe eines Piezostellgliedes zu ersetzen. Diese bietet Vorteile gegenüber der Taktung im Hinblick auf Mengenkonstanz und Düsenverschleiß.
- Bei einer rein konventionellen Magerverbrennung ohne eine Nacheinspritzung wird alternativ die Voreinspritzung VE in einem Bereich zwischen  $40^\circ\text{KW}$  und dem oberen Totpunkt OT vorgenommen, wobei der Beginn der Haupteinspritzung HE vorzugsweise in einem Bereich zwischen  $15^\circ\text{KW}$  vor OT und  $15^\circ\text{KW}$  nach OT stattfindet. Beide können als eine Blockeinspritzung so getätigt werden, dass ein hoher Impuls der Einspritzstrahlen erreicht wird. Um den Erfordernissen für

eine effektive magere Verbrennung zu genügen, wird dabei der Einspritzdruck auf einem maximalen Niveau eingestellt.

Der Einspritzdruck  $P_1$  während der Voreinspritzung und der  
5 Einspritzdruck  $P_3$  während der Nacheinspritzung werden  
vorzugsweise in den o.g. Einspritzstrategien gemäß Fig. 2 bis  
Fig. 5 so gewählt, dass sich durch die getaktete Vor- und  
Nacheinspritzung der eingespritzte Kraftstoff in nicht  
signifikantem Maße an der Brennraumbegrenzung des Brennraums 8  
10 anlagert.

In Fig. 6 ist eine schematische Darstellung der Einspritzdüse  
13 vom Typ Sacklochdüse angegeben, wobei sich eine Düse vom  
Typ Sitzlochdüse ebenso gut eignet. In der Einspritzdüse 13  
15 gemäß Fig. 6 ist die Wirkung einer hervorgerufenen instabilen  
kavitierenden Strömung in einem Düsenloch 21 der Einspritzdüse  
13 bei geringem Nadelhub  $h$  der Düsennadel 13a, d. h. bei  
teilweise geöffneter Einspritzdüse 13, und die dadurch  
erzielte Wirkung auf einen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  des  
20 Einspritzstrahls 17 dargestellt.

Auf der rechten Seite in Fig. 6 ist die Einspritzdüse 13 nur  
teilweise geöffnet, wodurch eine Drosselung im Düsennadelsitz  
22 erzielt wird. Durch diese Drosselung wird im Düsenloch 21  
25 eine turbulente bzw. eine instabile kavitierende Strömung  
hervorgerufen, die zu einem großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  des  
Kraftstoffstrahls 17 führt. Im Vergleich zu einer voll  
geöffneten Einspritzdüse mit maximaler Hubeinstellung, wie auf  
der linken Seite der Fig. 6 dargestellt, ist der  
30 Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  durch die instabile kavitierende Strömung  
größer als ein Ausbreitungswinkel  $\alpha_2$ , der ohne eine solche  
Strömung bewirkt wird. Die instabile kavitierende Strömung



ruft starke Fluktuationen der Düseninnenströmung 23 hervor, welche beim Kraftstoffaustritt aus dem Düsenloch 21 zu einem verstärkten Kraftstoffstrahlzerfall führen und somit zu einem großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$ .

5

Der Kraftstoffstrahl mit dem Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  breitet sich im Brennraum mit einer intensiven Zerstäubung aus, und bewirkt somit eine bessere Homogenisierung sowie eine schnelle Kraftstoffverdampfung, so dass mehr Kraftstoff in einer Teilmenge der Voreinspritzung VE oder der Nacheinspritzung NE ohne eine nennenswerte Brennraumwandbenetzung eingespritzt werden kann. Dagegen wird bei der Einspritzdüse 13 mit der maximalen Hubeinstellung gemäß der linken Seite in Fig. 6 im inneren des Düsenlochs 21 auf der linken Seite eine zweiphasige Strömung 24 hervorgerufen, welche zu einem konventionellen Kraftstoffzerfall führt. Im Vergleich zu einer teilweise geöffneten Einspritzdüse ist der Ausbreitungswinkel  $\alpha_2$  kleiner als der Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$ .

10

15

20 Eine gezielte Einstellung einer gewünschten Drosselwirkung im Sitz der Düsennadel kann mit einer geeigneten konstruktiven Maßnahme, z.B. durch einen 2-Federhalter an der Einspritzdüse das Verharren der Düsennadel auf einer Hubstellung, die zwischen der vollständig geschlossenen bzw. geöffneten Position liegt, unterstützt werden. Alternativ kann diese Einstellung über eine mittels Piezostellglied direkt gesteuerte Düsennadel realisiert werden.

25

Um einen möglichst großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  bei einer teilweise geöffneten Mehrloch-Einspritzdüse zu erzielen, sollte vorzugsweise die Ansteuerung derart erfolgen, dass der effektive Strömungsquerschnitt im Nadelsitz vorzugsweise etwa

30

das 0,8 bis 1,2 -fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Querschnitte der Einspritzbohrungen beträgt.

Es ist zweckmäßig, bei den o.g. Einspritzstrategien gemäß  
5 Fig. 2 bis Fig. 5 zusätzlich einen zuschaltbaren variablen Drall im Brennraum 8 der Brennkraftmaschine 1 zu bilden, so dass eine Gemischwolke einer Einspritzteilmenge sowohl bei der Voreinspritzung VE als auch bei der Nacheinspritzung NE durch eine angepasste Drallbewegung der Ladung im Brennraum  
10 unterstützt und gleichzeitig die Strahleindringtiefe reduziert wird. Die Strahlkeule bzw. die Gemischwolke eines Einspritztaktes wird demnach durch die Drallströmung so weit gedreht, dass bei einem nachfolgenden Einspritztakt die neu gebildeten Strahlkeulen nicht in die Gemischwolke der  
15 vorangegangenen Einspritzteilmenge eindringen. Hierdurch werden örtliche Überfettungen sowie die Strahleindringtiefen verringert, so dass insbesondere weniger Rußpartikel gebildet werden.

20 Erfindungsgemäß beträgt die Gesamteinspritzmenge der Voreinspritzung VE vorzugsweise, insbesondere bei den o.g. Einspritzstrategien, im unteren Teillastbereich, d.h. bis zu 70% Last, etwa 20% bis 50% der Haupteinspritzmenge und im oberen Lastbereich, d.h. von 70% Last bis zur Vollast, etwa  
25 10% bis 30% der Haupteinspritzmenge. Sie wird dabei so gewählt, dass klopfende Verbrennung sicher vermieden wird. Dieser homogenisierte Kraftstoffanteil verbrennt dann annähernd Ruß- und NOx-frei, erzeugt jedoch bereits einen erheblichen Anteil, der für die NOx-Reduktion am NOx-Speicher-  
30 Kat erforderlichen CO-Emission und liefert einen wichtigen Anteil zur Reduzierung des Luftverhältnisses.

Es ist auch denkbar, auf die vorangeschaltete homogene Verbrennung, insbesondere bei einer Fettverbrennung, zu verzichten und den Spritzbeginn der Haupteinspritzung noch weiter nach früh zu verlegen in einem Bereich zwischen 20°KW und 5°KW vor OT. Dabei wird während der Nacheinspritzung im Fettbetrieb der Einspritzdruck der einzelnen Kraftstoffteilmengen verändert, da die Gasdichte im Brennraum kontinuierlich abnimmt. Demnach wird der Kraftstoffeinspritzdruck dementsprechend ebenfalls stufenweise bzw. kontinuierlich reduziert. Die Gesamteinspritzmenge der Haupteinspritzung HE wird dabei so gewählt, dass in Kombination mit dem nachfolgend eingespritzten Kraftstoff der Nacheinspritzung NE das Drehmoment der konventionellen Magerverbrennung nicht über- bzw. unterschritten wird. Die Begrenzung der Frühverstellung der Haupteinspritzung HE bildet wiederum der max. zulässige Spitzendruck und die max. zulässige Druckerhöhung im Zylinder. Der Anstieg bzw. Abfall des Drehmoment im Fettbetrieb über oder unter dem Wert der Magerverbrennung wird durch die Anpassung des Spritzbeginns und der Einspritzmenge der Haupteinspritzung HE verhindert.

Erfindungsgemäß werden die Einspritzzeitpunkte sowie die Mengenaufteilung der einzelnen Teilmengen in Abhängigkeit vom jeweiligen Verdichtungsverhältnis des Motors verändert. Die hier angegebenen Werte eignen sich insbesondere für ein Verdichtungsverhältnis von  $\epsilon=16$ . Bei höheren Verdichtungsverhältnissen verschiebt sich die Ansteuerdauer für die Einspritzzeitpunkte der Homogenmenge aufgrund des früheren Zündbeginns der Homogenverbrennung bei höherer Verdichtung um den Betrag in Grad Kurbelwinkel nach früh. Analog verschiebt sich der Beginn der Einspritzung der Homogenmenge bei der Wahl eines geringeren Verdichtungsverhältnisses um den Betrag in Grad Kurbelwinkel

nach spät. Das gleiche gilt auch für unterschiedlich gewählte Ansauglufttemperaturen. Maßnahmen welche die Ansauglufttemperatur verringern, ermöglichen einen späteren Einspritzbeginn der Homogenmenge. Maßnahmen die eine Erhöhung  
5 der Ansauglufttemperatur bewirken, erfordern einer Verlagerung des Spritzbeginns der Homogenmenge nach früh.

DaimlerChrysler AG

Aifan  
30.06.2003

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (1) mit Selbstzündung, bei dem

10

- Kraftstoff mittels einer eine Düsennadel (13a) aufweisenden Einspritzdüse (13) mit Einspritzbohrungen (21) in Form mehrerer Kraftstoffstrahlen (17) in einen Brennraum (8) eingespritzt wird,

15

- während eines Einspritzvorgangs ein Teil des Kraftstoffes als eine Haupteinspritzung (HE) und  
- zu einem späteren Zeitpunkt nach der Haupteinspritzung (HE) eine Kraftstoffmenge als eine getaktete Nacheinspritzung (NE) eingespritzt wird,

20

dadurch gekennzeichnet, dass  
- die Nacheinspritzung (NE) in Teilmengen derart getaktet eingespritzt wird, dass die Kraftstoffteilmengen der Nacheinspritzung (NE) unterschiedlich groß gebildet werden.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

30

während der getakteten Nacheinspritzung (NE) ein Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse (13) und/oder ein Kraftstoffeinspritzdruck derart eingestellt werden, dass bei jeder in den Brennraum (8) eingespritzten Teilmenge der Nacheinspritzung (NE) eine Reichweite des jeweiligen Kraftstoffstrahls (17) im Brennraum derart begrenzt wird, dass die Reichweite kleiner als eine Entfernung bis zu einer Brennraumbegrenzung ist.



3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung (NE)  
5 größer eine nachfolgende Kraftstoffmenge der  
Nacheinspritzung (NE) bemessen wird.
- 10 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Nacheinspritzung (NE) mit einem niedrigeren  
Einspritzdruck als dem der Haupteinspritzung (HE) in den  
Brennraum (8) eingespritzt wird.
- 15 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
mit der Haupteinspritzung (HE) in einem Bereich von 10°KW  
vor dem oberen Totpunkt bis 20°KW nach dem oberen Totpunkt  
begonnen wird.
- 20 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
mit der Nacheinspritzung (NE) in einem Bereich von 30°KW  
bis 100°KW nach dem Ende der Haupteinspritzung (HE)  
begonnen wird.
- 25 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Nacheinspritzung (NE) in einer zwei- bis achtfachen  
Taktung in einem Expansionshub in einem Bereich von 20°KW  
30 bis 150°KW nach dem oberen Totpunkt erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass

ein Teil des Kraftstoffs als eine getaktete Voreinspritzung (VE) mit einem niedrigeren oder gleich großen Einspritzdruck als dem der Haupteinspritzung (HE) eingespritzt wird.

5

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Voreinspritzung (VE) in einem Bereich von 140°KW bis 60°KW vor dem oberen Totpunkt eingespritzt wird.

10

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Haupteinspritzung (HE) in einem Bereich von 5°KW bis 30°KW nach einem Zündzeitpunkt der Voreinspritzung (VE) in den Brennraum (8) vorgenommen wird.

15

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffmenge der Voreinspritzung (VE) in einem unteren und mittleren Lastbereich etwa 20% bis 50% der Kraftstoffmenge der Haupteinspritzung (HE) und in einem oberen Lastbereich bzw. Vollastbereich etwa 10% bis 30% der Kraftstoffmenge der Haupteinspritzung (HE) beträgt.

20

- 25 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der Nacheinspritzung (NE) und/oder der Voreinspritzung (VE) mittels einer im Brennraum (8) gebildeten Drallbewegung eine während eines Einspritztaktes erzeugte Kraftstoffwolke eines Kraftstoffstrahls (17) versetzt oder seitlich verschoben wird.

30

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse derart  
eingestellt wird, dass eine instabile kavitierende  
Strömung in den Einspritzbohrungen (21) der Einspritzdüse  
(13) erzeugt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse (13) derart  
variiert wird, dass innerhalb der Einspritzdüse (13) ein  
effektiver Strömungsquerschnitt zwischen der Düsennadel  
(13a) und einem Düsennadelsitz (22) etwa das 0,8 bis 1,2-  
fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe  
aller Einspritzbohrungen beträgt.
15. Einspritzdüse zur Durchführung des Verfahrens nach einem  
der Ansprüche 1 bis 14, welche eine nach innen öffnende  
Düsennadel (13a) und mehreren Einspritzbohrungen (21)  
aufweist,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
zwischen den eingespritzten Kraftstoffstrahlen (17) ein  
Spritzlochkegelwinkel von  $80^{\circ}$  bis  $140^{\circ}$  einstellbar ist.
16. Einspritzdüse nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse (13) derart  
einstellbar ist, dass innerhalb der Einspritzdüse (13) ein  
effektiver Strömungsquerschnitt zwischen der Düsennadel  
(13) und dem Nadelsitz (22) etwa das 0,8 bis 1,2-fache  
eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller  
Einspritzbohrungen (21) beträgt.

17. Einspritzdüse nach Anspruch 16,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Hub der Düsennadel (13a) mittels einer  
5 Zweifederhalterung, einer piezogesteuerten Düsennadel oder  
einer Koaxial-Variodüse einstellbar ist.

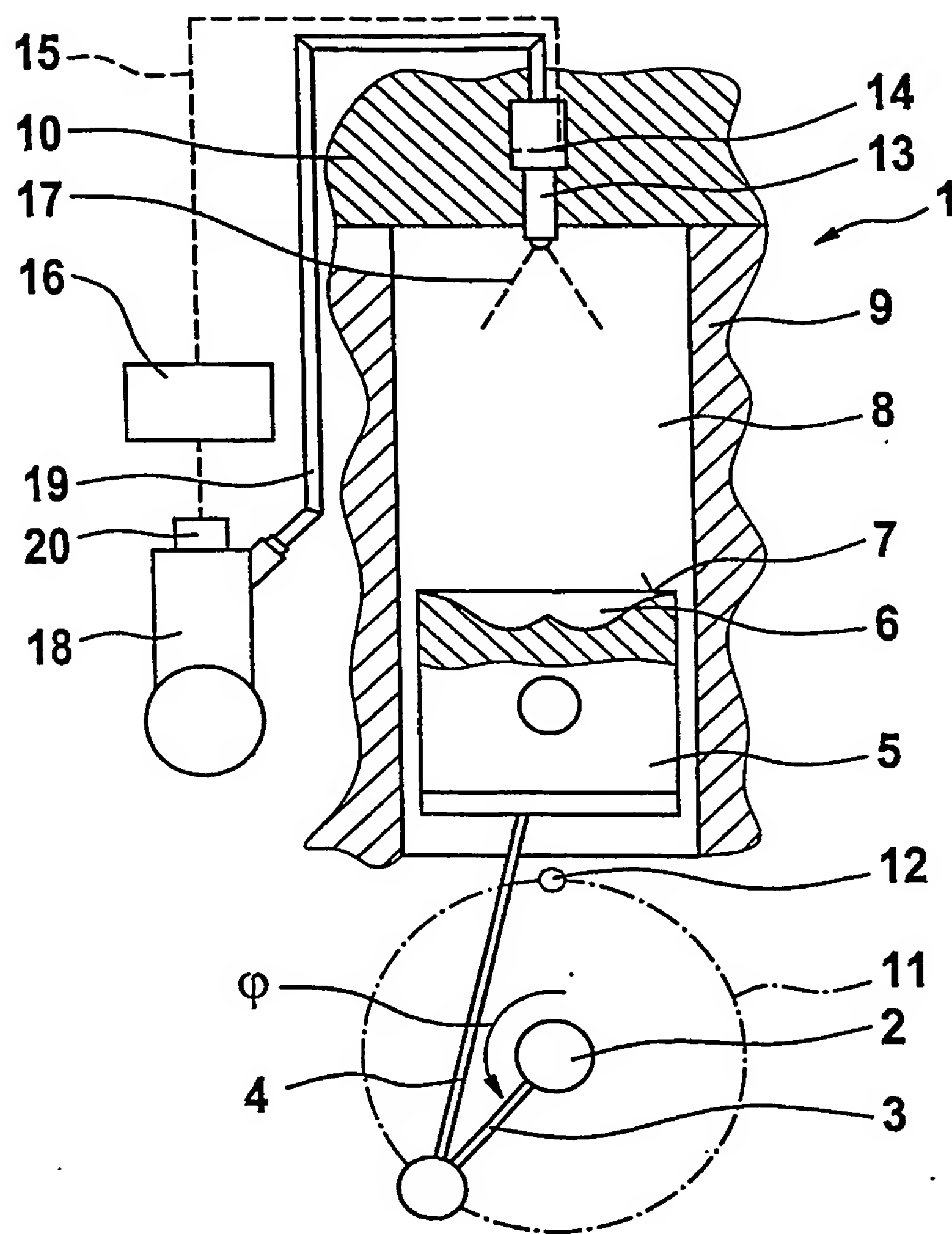


Fig. 1



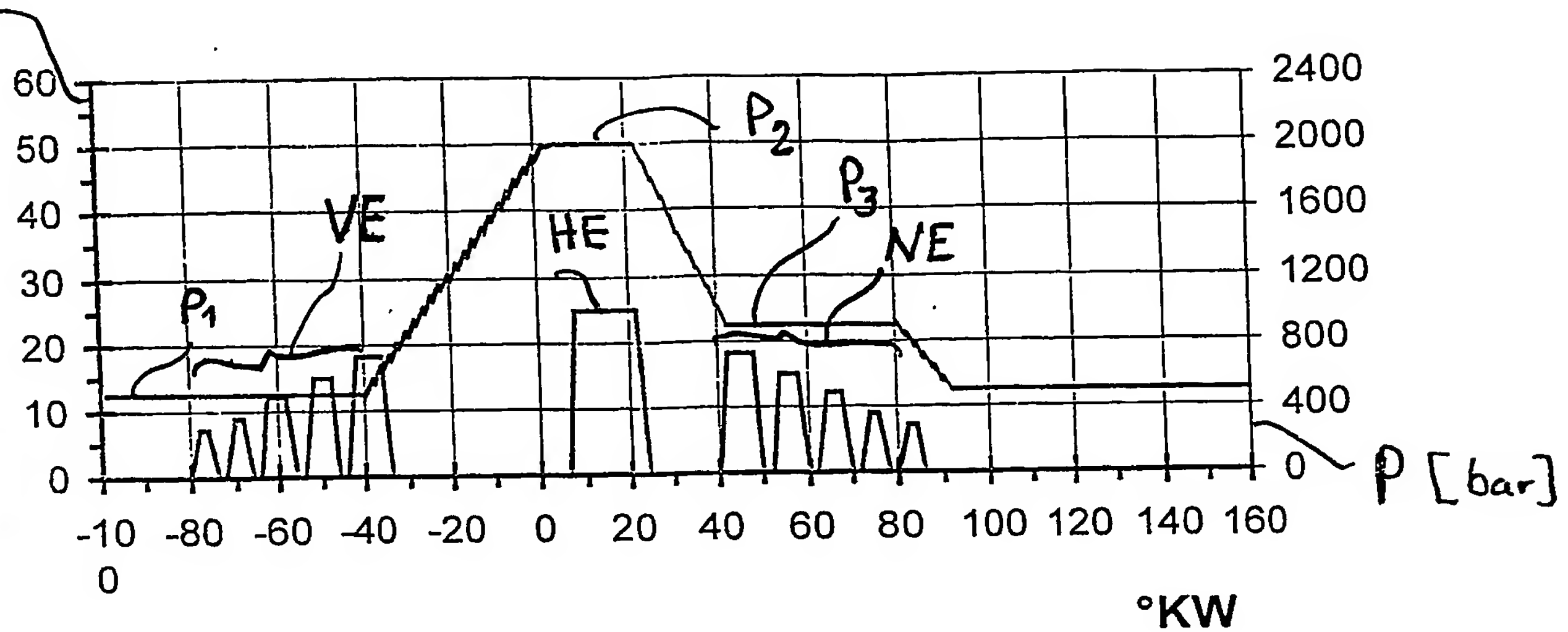
$h$  [mm/100]

Fig. 2

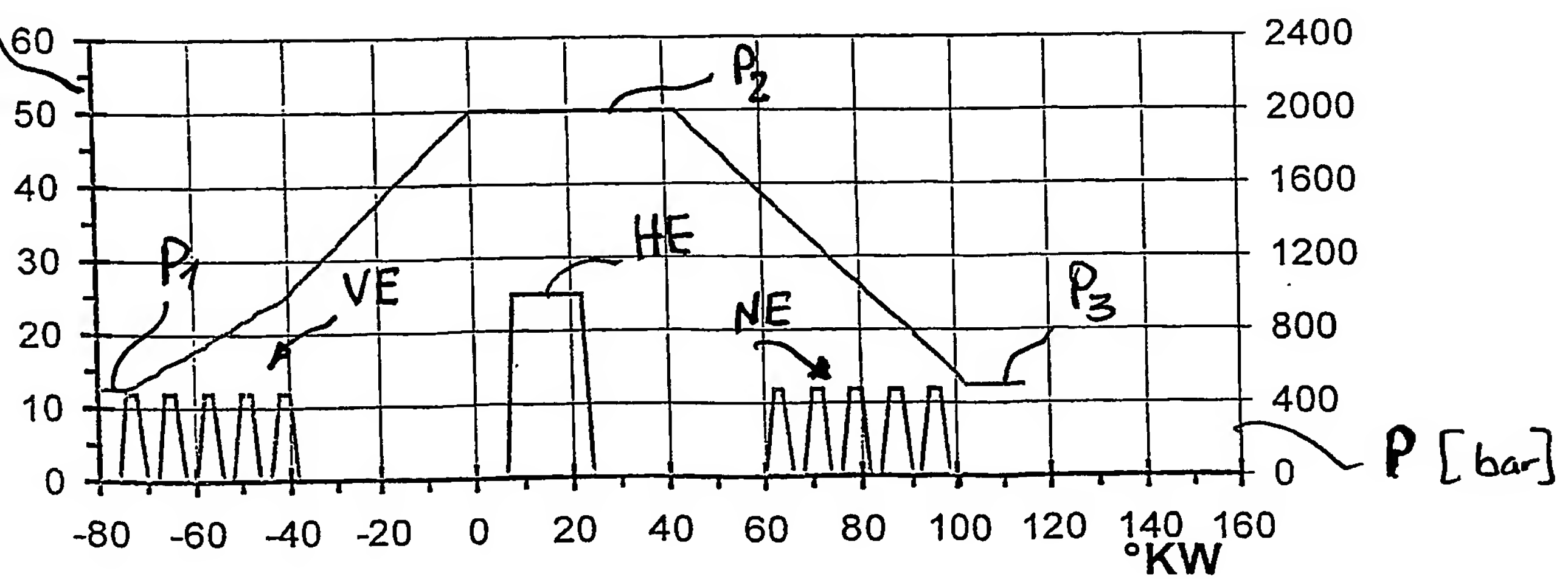
 $h$  [mm/100]

Fig. 3

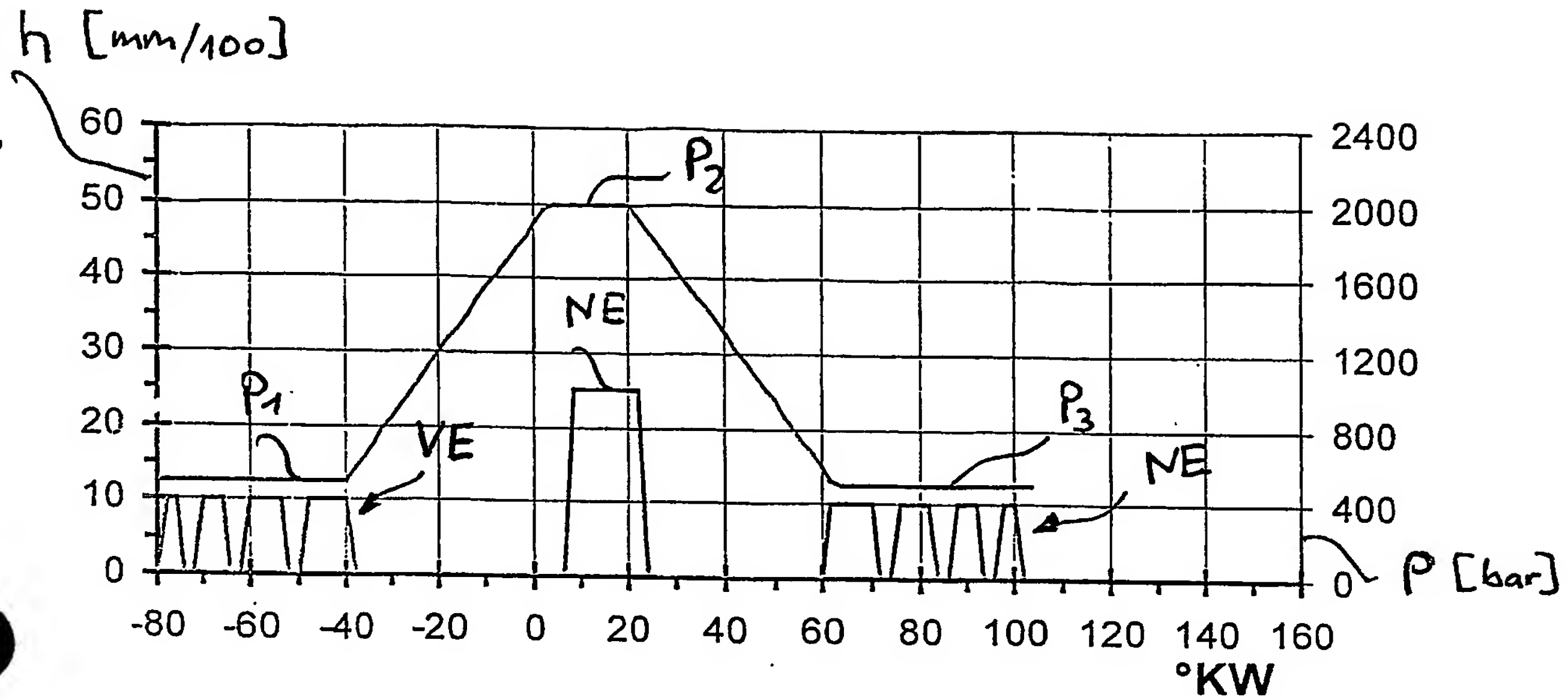


Fig. 4

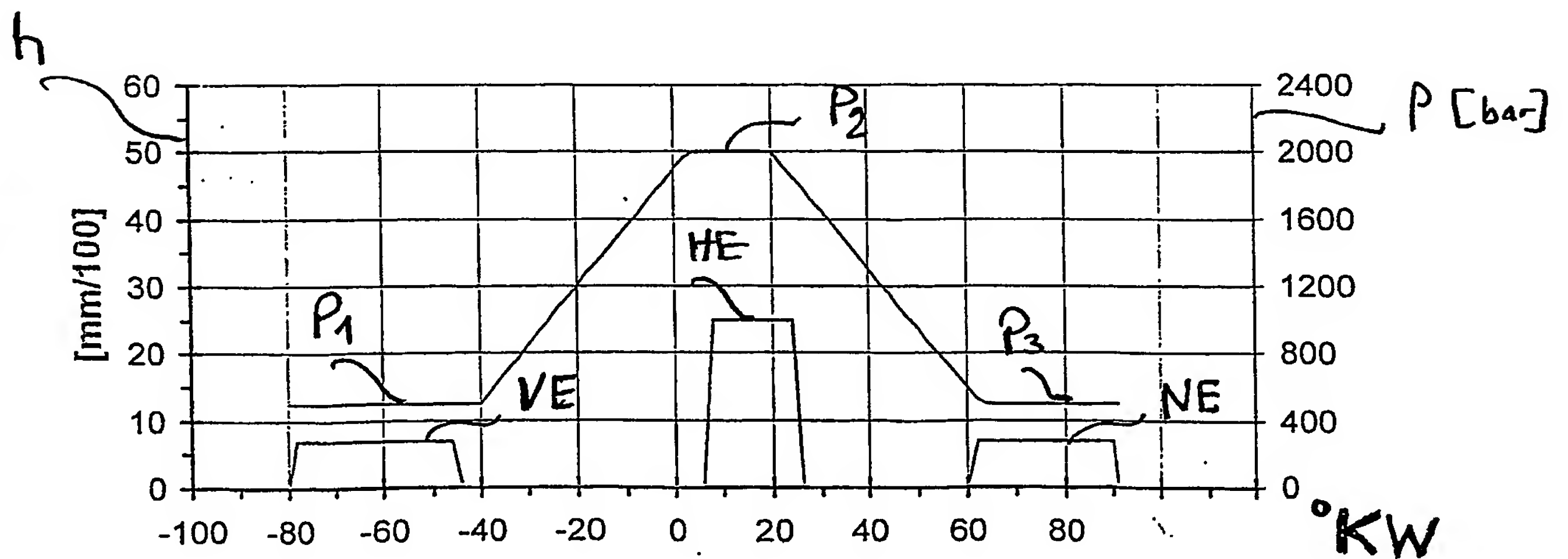


Fig. 5



DaimlerChrysler AG

30.06.2003

5

Zusammenfassung

Die Erfindung geht von einem Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine aus, bei der Kraftstoff mittels einer Einspritzdüse mit mehreren Einspritzbohrungen direkt in einen Brennraum als Haupt- und Nacheinspritzung und gegebenenfalls als Voreinspritzung einspritzt wird, wobei vorzugsweise die Vor- und die Nacheinspritzung getaktet vorgenommen werden. Um die Benetzung der Brennraumwände zu minimieren, werden während der Nacheinspritzung die Kraftstoffteilmengen sowie ein Hub der Düsennadel der Einspritzdüse derart eingestellt, dass bei jeder in den Brennraum eingespritzten Teilmenge der Nacheinspritzung eine Reichweite des jeweiligen Kraftstoffstrahls im Brennraum derart begrenzt wird, dass die Reichweite kleiner als eine Entfernung bis zu einer Brennraumbegrenzung ist.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**